

Field-effect amplifier device operating in the microwave range, by transfer of electrons.

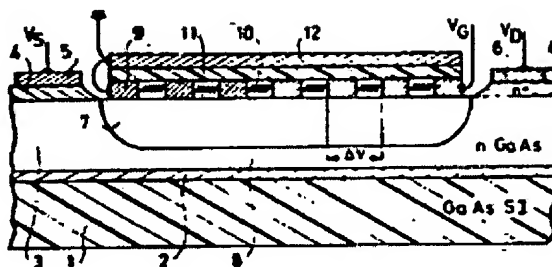
Patent number: FR2550889
Publication date: 1985-02-22
Inventor: CHAPLART JEAN; DIAMAND FELIX; FAY BERNARD
Applicant: THOMSON CSF (FR)
Classification:
- international: H01L29/78; H03F3/193
- european: H01L29/423D2, H01L29/47B, H01L29/812
Application number: FR19830013393 19830817
Priority number(s): FR19830013393 19830817

Abstract of FR2550889

The invention relates to a device whose function is to amplify a microwave signal. It operates in transmission as a field-effect transistor with Schottky gate, but relies on a different amplification mechanism: the field in the channel being greater than the critical field, the differential mobility in the channel is negative.

This device includes a semi-insulating substrate 1 and at least one active layer 3, formed as a mesa 13. The upper face of the mesa 13 supports the source 5, drain 6 and gate metallisations. The gate has a complex structure formed of a network of gate bars 9 joined by resistors 10. The bias voltage of the bars 9 grows from one end of the gate, earthed, towards the other end. An insulating layer 11 and a metallisation 12, covering the gate, form capacitors with the bars 9 and an RC circuit with the resistors 10.

Application to the amplification of microwave signals within the 10-40 GHz range.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication : **2 550 889**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **83 13393**

(51) Int Cl⁴ : H 01 L 29/78; H 03 F 3/193.

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 17 août 1983.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 8 du 22 février 1985.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

(71) Demandeur(s) : Société dite : THOMSON-CSF. société
anonyme. — FR.

(72) Inventeur(s) : Félix Diamand, Bernard Fay et Jean Cha-
plart.

(73) Titulaire(s) :

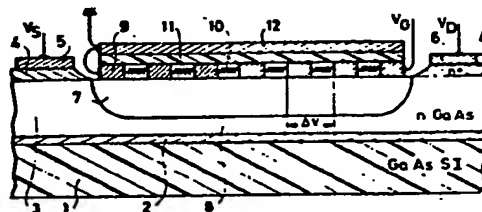
(74) Mandataire(s) : Philippe Guilguet, Thomson-CSF, SCPL

(54) Dispositif amplificateur à effet de champ, fonctionnant dans les hyperfréquences, par transfert d'électrons.

(57) L'invention concerne un dispositif qui a pour fonction
l'amplification d'un signal hyperfréquences. Il fonctionne en
transmission comme un transistor à effet de champ à grille
Schottky, mais repose sur un mécanisme d'amplification diffé-
rent : le champ dans le canal étant supérieur au champ
critique, la mobilité différentielle dans le canal est négative.

Ce dispositif comporte un substrat 1 semi-isolant et au
moins une couche active 3, formée en méssa 13. La face
supérieure du méssa 13 supporte les métallisations de source 5,
de drain 6 et de grille. La grille a une structure complexe,
formée d'un réseau de barreaux de grille 9 réunis par des
résistances 10. La tension de polarisation des barreaux 9 croît
depuis une extrémité de la grille, mise à la masse, vers l'autre
extrémité. Une couche d'isolant 11 et une métallisation 12,
recouvrant la grille, forment des capacités avec les barreaux 9
et un circuit RC avec les résistances 10.

Application à l'amplification des signaux hyperfréquences,
dans la gamme 10-40 GHz.



FR 2 550 889 - A1

AN

A

DISPOSITIF AMPLIFICATEUR A EFFET DE CHAMP, FONCTIONNANT
DANS LES HYPERFREQUENCES, PAR TRANSFERT D'ELECTRONS

La présente invention concerne un dispositif d'amplification par transfert d'électrons, qui fonctionne préférentiellement dans le domaine des hyperfréquences. Ce dispositif est apparenté à un transistor à effet de champ rapide, à barrière Schottky, mais il est muni d'une électrode de grille beaucoup plus longue qu'un transistor à effet de champ classique, segmentée
5 de façon à avoir un canal d'épaisseur régulière, parallèle au substrat, ce qui permet une inter-action cumulative. En effet, une caractéristique du dispositif selon l'invention est que l'électrode de grille est constituée d'une pluralité de barreaux de grille, réunis entre eux par des résistances qui assurent un échelonnement des tensions de grille, laquelle est en outre à la
10 masse du point de vue hyperfréquence par l'intermédiaire d'une capacité.

Bien que le dispositif ne soit pas un transistor à proprement parler puisqu'il possède une grille trop longue pour être un transistor hyperfréquence et qu'il fonctionne sur un principe différent, le transfert d'élec-
15 trons, qui l'apparente au dispositif à effet Gunn, on conviendra par la suite du texte d'utiliser le mot transistor dans le seul but de clarifier le texte et d'éviter de longues périphrases.

Les dispositifs amplificateurs connus tels que les transistors à effet de champ ont deux limitations. Ils sont relativement limités en fréquences par les très petites dimensions, submicroniques, de leur grille ou électrode de
20 commande. Atteindre des fréquences de plus en plus élevées nécessitent de réaliser des métallisations de grille de plus en plus petites, et donc de réaliser des grilles submicroniques par des techniques délicates et de mauvais rendement industriel. Outre les limites technologiques, les fré-
25 quences les plus élevées sont difficiles à atteindre parce que les distances entre électrodes d'accès et électrodes de commande deviennent si petites qu'un arc électrique est facilement obtenu entre ces métallisations pour de faibles tensions. Par ailleurs l'effet des résistances parasites, notamment de source et de grille, est d'autant plus sensible que la fréquence est plus
30 élevée, en ce qui concerne la dégradation du gain et du facteur de bruit. De

plus la résistance de grille augmente quand sa longueur diminue, ce qui accentue les limitations au fonctionnement haute fréquence.

Le dispositif amplificateur selon l'invention est assimilable à un transistor à effet de champ à barrière Schottky, mais il diffère d'un transistor à effet de champ traditionnel par une grille beaucoup plus longue, de l'ordre de 10 microns ou plus, qui présente les caractéristiques suivantes :

- la grille est constituée par une structure segmentée comportant une pluralité de barreaux de grille élémentaire,

- des tensions échelonnées sont appliquées à ces barreaux de grilles élémentaires, de manière que la tension le long de la structure de grille soit régulièrement croissante depuis une extrémité jusqu'à l'autre extrémité c'est-à-dire depuis l'entrée vers la sortie du canal qui se trouve sous-la grille. Le but de l'échelonnement des tensions est d'éviter le pincement du canal et, plus précisément, d'imposer des caractéristiques statiques d'épaisseur du canal et de champ électrique invariantes sur toute la longueur du canal,

- un circuit RC résistance-capacité approprié permet d'assurer l'échelonnement des tensions de grille tout en découplant les composantes continues et hautes fréquences qui sont mises à la masse, une armature de la capacité du circuit RC étant elle-même à la masse.

Les tensions de polarisation de drain-source et de grille-source sont ajustées de manière que le champ dans le canal soit supérieur au champ critique. Dans ces conditions, la mobilité différentielle dans le canal, c'est-à-dire la mobilité en fonction du champ électrique, est négative, ce qui constitue un mécanisme d'amplification à résistance négative analogue à l'effet Gunn. Mais le dispositif d'amplification selon l'invention présente de nombreuses différences par rapport à l'effet Gunn. L'effet Gunn est un effet de volume uni-dimensionnel selon lequel le champ hyperfréquence et le courant hyperfréquence sont longitudinaux. Au contraire, le canal d'un transistor à effet de champ, ou dans le cas présent le canal du dispositif d'amplification selon l'invention, est une couche mince dans laquelle les perturbations longitudinales sont couplées à des perturbations transversales par la capacité grille-canal, ce qui change notablement les caractéristiques

de propagation et d'amplification.

Par ailleurs, une particularité intéressante de la structure proposée est qu'il s'agit d'un quadripôle, tandis qu'une diode Gunn est un dipôle à résistance négative. L'utilisation d'une diode Gunn comme élément amplificateur est bien connue mais elle présente des inconvénients liés à la difficulté d'obtenir un fonctionnement sans domaine. Ainsi l'amplification au moyen d'un dipôle à résistance négative, ou diode Gunn, impose un montage par réflexion comportant nécessairement un circulateur qui découple la source d'amplification de la charge.

Le dispositif amplificateur selon l'invention peut fonctionner avec un gain élevé et une forte non réprocité, c'est-à-dire ne nécessitant pas un circulateur, excluant tous risques d'accrochages internes : la boucle d'amplification est externe au quadripôle et il n'y a pas de boucle de réaction interne. La limite de stabilité, c'est-à-dire la limite correspondant au gain maximal que l'on peut obtenir avec le dispositif selon l'invention, n'est conditionnée que par la réaction externe entre sortie et entrée c'est-à-dire entre drain et grille ou drain et source suivant le montage choisi pour l'amplificateur selon l'invention.

Il est possible d'atteindre une réaction drain-source, si l'amplificateur est monté en grille commune par exemple, particulièrement faible compte-tenu de l'isolement important que procure une grille longue de quelques dizaines de microns.

De façon plus précise l'invention concerne un dispositif amplificateur à effet de champ, fonctionnant dans les hyperfréquences, par transfert d'électrons, comportant, supportées par un substrat semi-isolant, au moins une couche active dans laquelle est formé un méso qui porte sur sa face supérieure les métallisations des électrodes d'accès, source et drain, et de l'électrode de commande dite grille, à contact Schottky, ce dispositif amplificateur étant caractérisé en ce que la grille est une grille longue à structure composite, constituée par un réseau de barreaux de grilles élémentaires, réunis entre eux par des résistances, montées en série et alternativement avec les barreaux de grille, les potentiels de polarisation des barreaux de grille croissant régulièrement depuis une extrémité du réseau, mise à la masse, vers l'autre extrémité du réseau, polarisée par une

tension de grille, dans le sens allant de la source vers le drain.

L'invention sera mieux comprise par la description qui suit d'un exemple de réalisation, et de son procédé de fabrication, cette description s'appuyant sur les figures jointes en annexe qui représentent :

- 5 - figure 1 : vue en coupe, simplifiée, d'un dispositif amplificateur selon l'invention,
- figure 2 : vue en coupe du dispositif amplificateur de la figure 1, selon un axe perpendiculaire à l'axe de la coupe précédente,
- figure 3 : vue en plan des métallisations de source, grille et drain
- 10 d'un dispositif amplificateur selon l'invention
- figures 4 à 13 : les différentes principales étapes de fabrication de la grille d'un amplificateur selon l'invention.

La figure 1 représente une vue en coupe d'un dispositif amplificateur selon l'invention. De façon à simplifier les explications, ce dispositif amplificateur est réalisé dans un matériau tel que GaAs, mais il est évident
15 pour l'homme de l'art que d'autres matériaux binaires tels que InP, ternaires ou quaternaires et de façon plus générale ceux de la famille III-V conviennent à la réalisation du transistor selon l'invention.

Ce transistor comporte un substrat 1 en GaAs semi-isolant sur lequel est déposée une couche 2 de GaAs non dopée, dont l'unique fonction est
20 d'adapter les paramètres cristallins entre le substrat 1 semi-isolant et la couche active 3 en GaAs dopée de type n. Une couche 4 en GaAs de type n⁺ a été creusée de façon à permettre de déposer la grille directement sur la couche active 3 : les îlots restant de la couche 4 n'ont d'autres fonctions que de favoriser la qualité des contacts ohmiques de source 5 et de drain 6.

25 Le transistor selon l'invention n'est pas limité au nombre de couches de matériaux semiconducteurs qui viennent d'être décrites et le "corps" de la pastille du transistor, c'est-à-dire les différentes couches semiconductrices peut être réalisé selon bien d'autres configurations qui sont évidentes et bien connues du spécialiste, le fondement de l'invention résidant dans le contrôle
30 du canal par le moyen d'une grille nouvelle.

La zone désertée 7 qui se trouve sous la grille, entre les régions de source et de drain, contrôle le canal 8 qui se trouve ainsi pincé entre la zone désertée 7 et le substrat.

L'ensemble de grille est complexe et comporte une pluralité de barreaux métalliques 9 assurant un contact Schottky avec le matériau de la couche active 3. Entre ces barreaux, existent des résistances 10, qui sont ici représentées symboliquement mais apparaissent mieux sur les deux figures suivantes : les barreaux 9 et les résistances 10 constituent une chaîne, de telle sorte que les résistances disposées d'un côté de l'électrode sont alternées par rapport aux résistances disposées de l'autre côté de l'électrode de grille, comme cela ressort mieux de la figure 3. Sur le méandre ainsi constitué par une pluralité de barreaux de grille 9 est déposée une couche d'isolant 11, qui supporte une métallisation 12, laquelle forme avec chaque barreau de grille une capacité élémentaire.

Un barreau de grille 9 qui se trouve à une extrémité de la structure de grille est électriquement réuni à la métallisation supérieure 12, laquelle est à la masse. Un autre barreau de grille 9, opposé au précédent et qui se trouve donc à l'autre extrémité de la structure de grille est alimenté sous une tension de polarisation de grille V_G . Les potentiels dans les différents barreaux constituant la grille sont donc échelonnés depuis la tension de polarisation V_G , appliquée du côté de la sortie du canal, jusqu'au potentiel de masse, du côté de l'entrée du canal. Cet échelonnement est permis par la présence des résistances 10 placées entre chaque barreau de grille.

La figure 2 représente une vue en coupe de la structure selon l'invention, cette vue en coupe étant prise perpendiculaire à la vue en coupe précédente : tandis que sur la figure 1 les barreaux de grille sont vus par leur extrémité, sur la figure 2 les barreaux de grille sont vus dans le sens de leur longueur. Cette figure 2 met en évidence le fait que la grille est réalisée sur une structure en forme de méso, ce qui permet de déposer les résistances 10 sur le matériau semi-isolant du substrat du transistor selon l'invention.

Sur un substrat 1 en matériau semi-isolant, on fait croître la ou les couches 3 constituant le canal. La structure précise des couches constitutives n'est pas importante à décrire car elle fait partie des connaissances de l'homme de l'art et c'est pourquoi le canal n'est représenté que dans une seule couche 3. C'est cette couche active 3 qui est ensuite attaquée par des moyens appropriés de façon à dégager un méso dont la surface supérieure

correspond aux emplacements futurs des métallisations de source, de grille et de drain. Sur la surface supérieure du méso sont alors déposées les métallisations de source 5, de drain 6 et de grille 9, mais la métallisation de grille déborde sur les flancs du méso jusqu'à atteindre la surface, dégagée par l'attaque du méso, du substrat semi-isolant : c'est sur cette surface de substrat semi-isolant que sont disposées les résistances 10 qui correspondent à une métallisation fine donc résistante, tandis que les barreaux 9 constituant la surface de grille sont épaissis par voie électrolytique de façon à les rendre non résistants.

La figure 2 montre deux résistances 10 situées aux deux extrémités du seul barreau 9 visible sur cette coupe : une résistance 10 est reliée à un barreau 9 qui se trouve derrière le plan de la figure, tandis que l'autre résistance 10 est reliée à un autre barreau 9 qui se trouve, lui, devant le plan de la figure.

La figure 3 donne une vue en plan des métallisations de source, de drain et de grille selon l'invention et elle complète les figures 1 et 2 pour en préciser la structure.

Cette figure représente la structure de grille sur laquelle on a supposé avoir retiré la couche d'isolant 11 et la métallisation 12, de façon à laisser voir la structure des métallisations des barreaux de grille 9 et des résistances 10. La trace de l'isolant 11 et de la métallisation 12 est représentée en pointillés.

L'ensemble des métallisations d'électrodes de source 5, de drain 6 et de barreaux de grille 9 est supporté par la partie supérieure du méso 13. Cependant, les barreaux d'électrode 9 sont réalisés, au cours des opérations de masquage, plus grands que la dimension correspondante du méso 13 de telle sorte que leurs extrémités descendent le long du méso. Les résistances 10 qui réunissent les barreaux de grille 9 pris deux à deux apparaissent ainsi formant un méandre, dont une partie repose sur la partie supérieure du méso 13, et dont une autre partie, les résistances 10, repose sur la partie supérieure du substrat 1, dégagé au cours de l'opération de réalisation du méso.

La figure 3 montre également deux métallisations d'interconnexion 14,

réunies l'une à une première extrémité du méandre de grille et l'autre à une seconde extrémité du méandre de grille. Ces métallisations sont provisoires et ne font pas partie de la structure du transistor selon l'invention, mais il est nécessaire de les rapporter sur la figure 3 pour comprendre les opérations de fabrication du transistor. En effet, le méandre de grille est réalisé en deux étapes, comme cela sera détaillé ultérieurement. Dans la première étape, une métallisation en couches minces permet d'établir un chemin conducteur et une partie de cette métallisation correspond aux résistances 10. Dans une seconde étape, et après un masquage adéquat pour épargner les résistances 10, les barreaux de grille 9 sont enrichis par un procédé électrolytique de façon à leur donner une épaisseur suffisante pour ne pas être résistif : c'est en vue de l'enrichissement des barreaux de grille 9 que sont déposées provisoirement deux métallisations 14 qui servent d'électrodes pour l'électrolyse. Dans la région centrale du méandre, celle qui est supportée par le méso, l'or est enrichi électrolytiquement jusqu'à obtenir une épaisseur de 1 ou plusieurs microns ce qui constitue un ensemble de grilles de faibles résistances.

Un échelonnement convenable des tensions de grille, obtenu par les résistances 10 entre les barreaux de grille 9, permet d'obtenir un canal 8 dont les caractéristiques sont invariantes dans toute la région sous la grille. Les capacités formées par chaque barreau de grille 9 et la métallisation supérieure 12 servent au découplage entre les voies hyperfréquences et continue. L'épaisseur du canal et le champ électrique sont constants, ce qui implique que le canal est électriquement neutre. Cette condition est compatible avec un champ électrique dans le canal supérieur au champ critique. Ainsi, dans le transistor selon l'invention, et si l'on se reporte à la figure 1, un gradient de potentiel pris entre deux barreaux de grille 9 est égal au gradient de potentiel pris dans le canal 8 et mesuré sur la même distance que la distance qui sépare deux barreaux de grille. Le transistor selon l'invention présente donc la caractéristique originale suivante que la grille, dont la longueur est typiquement de l'ordre de la dizaine de microns, est polarisée par une tension croissante de l'entrée vers la sortie, c'est-à-dire depuis l'électrode de source vers l'électrode de drain. Un tel profil de tension est obtenu en segmentant finement la grille et en appliquant aux différentes grilles élémentaires des tensions étagées. Le but de cette

structure est d'éviter le pincement du canal et plus précisément de tendre vers des caractéristiques statiques invariantes sur toute la longueur du canal. Pour réaliser un champ donné E_0 dans tout le canal, le gradient de polarisation de la grille doit être choisi du même ordre de grandeur que E_0 : c'est ce qui vient d'être dit en exprimant que le gradient de potentiel au niveau de la grille doit être le même que le gradient de potentiel dans le canal.

Si E_0 est supérieur au champ critique E_c , la caractéristique de tension en fonction du champ a une pente négative et le canal constitue un milieu à résistance négative capable de propager et d'amplifier une perturbation haute fréquence.

Ce mécanisme d'amplification s'apparente à l'effet Gunn, mais celui-ci est un effet de volume uni-dimensionnel dans lequel le champ haute fréquence et le courant haute fréquence sont longitudinaux. Dans le cas du canal du transistor, les perturbations longitudinales sont couplées à des perturbations transversales par la capacité grille-canal ce qui change notablement les caractéristiques de propagation et d'amplification.

Une particularité intéressante de la structure proposée est qu'il s'agit d'un quadripôle alors qu'une diode Gunn est un dipôle à résistance négative. L'utilisation d'une diode Gunn comme élément amplificateur présente des inconvénients bien connus liés à la difficulté d'obtenir un fonctionnement sans domaine.

En effet, l'amplification au moyen d'un dipôle à résistances négatives, c'est-à-dire au moyen d'une diode Gunn, impose un montage par réflexion comportant nécessairement un circulateur. Au contraire, la structure du transistor selon l'invention est capable de fonctionner avec un gain élevé et une forte non-réciprocité excluant tous risques d'accrochage interne, c'est-à-dire que le quadripôle selon l'invention ne nécessite pas un circulateur dans un circuit d'amplification. La limite de stabilité n'est conditionnée que par la réaction externe entre sortie et entrée c'est-à-dire entre drain et grille ou drain et source suivant le montage choisi. Dans le cas d'un montage en grille commune, il est possible d'atteindre une réaction drain-source particulièrement faible compte-tenu de l'isolement important que procure une grille longue de quelques dizaines de microns.

Le canal est considéré mince, c'est-à-dire assimilé à un milieu uni-
dimensionnel capable cependant d'induire du courant de déplacement dans la
grille. C'est l'hypothèse courante dans toutes les théories du transistor à
effet de champ, mais dans le cas considéré ici, l'optimisation du gain conduit
5 à une épaisseur de canal beaucoup plus grande que dans un transistor à effet
de champ normal. Pour optimiser le gain, le dopage de la couche active 3 est
choisi nettement plus faible que pour un transistor à effet de champ normal
et il a une épaisseur plus forte : dopage n de l'ordre de 10^{16} cm^{-3} et
10 épaisseur de l'ordre de 0,5 à 1 micron. Malgré la valeur notable de l'épais-
seur, le canal est considéré mince et on peut donc négliger toutes variations
transverses des grandeurs hyperfréquences à l'intérieur du canal, celui-ci
étant considéré comme un milieu uni-dimensionnel pouvant cependant
échanger du courant de déplacement avec la grille. Les caractéristiques
statiques du canal sont invariantes par translation selon l'axe qui va de la
15 source vers le drain, et qu'on peut appeler l'axe des X . En effet, à l'entrée de
la grille, on a réalisé d'une part la neutralité électrique dans le canal et
d'autre part le champ dans le canal est égal au champ d'échelonnement de la
grille : $E = E_g$. Entre deux points voisins x et $x + \Delta x$, la variation ΔU de la
chute de tension dans la zone déserte 7 est nulle puisque :

20 $\Delta U = E \Delta x - E_g \Delta x = 0$, donc la variation de l'épaisseur du canal est
nulle aussi. Le canal étant neutre, la variation du champ dans le canal est
nulle aussi et le canal reste neutre puisque son épaisseur est constante. D'où
de proche en proche l'invariance du canal.

On a négligé jusqu'ici les pertes dans la grille. L'influence de ces
25 pertes sur le gain de l'amplificateur se traduit en ce que, contrairement à un
transistor à effet de champ classique à grille courte où le courant de grille
est perpendiculaire au courant dans le canal, dans la structure particulière
du transistor selon l'invention le courant de grille est essentiellement
longitudinal. Les courants sont parallèles au plan de la figure 1. Les pertes
30 hyperfréquences sont constituées par les pertes dans les barreaux et les
pertes dans la masse où le courant est longitudinal. L'ensemble de ces pertes
pourrait être représenté par une ligne en échelle à constante localisée, dont
la cellule élémentaire est formée par une résistance parallèle (perte dans le
barreau de grille) et une résistance série (perte dans la ligne de masse).

Entre 10 et 30 GHz, les valeurs des paramètres étant proches des valeurs optimales sont données ci-dessous :

	Largeur d'un barreau	: $d = 0,2 - 0,7 \mu$
5	pas de barreaux	: le double de d
	Longueur de grille	: $l = 10^{-5} \text{ m}$
	dopage de la couche	: $N = 1,5 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$
10	épaisseur de la couche	: $a = 10^{-6} \text{ m}$
	vitesse électronique	: $v_e = 1,5 \cdot 10^5 \text{ m/s}$
15	d'où un temps de transit	: $\tau_t = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ s}$
	mobilité différentielle	: $\mu_d = -0,08 \text{ m}^2/\text{V.s}$
20	tension de pincement	: $V_p = \frac{qNa^2}{2\epsilon} = 10,88 \text{ V}$

$$\alpha = C^{te} = [V(x) - V_g(x) + \phi] / V_p = 0,7$$

ce qui correspond à une épaisseur de canal b :

$$b = a (1 - \alpha^{1/2}) \simeq 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Pour une grille de longueur 10 microns, et pour l'onde amplifiée, le gain d'un transistor selon l'invention est de 11 dB à 10 GHz et d'environ 30 dB à 30 GHz. Il y a donc une nette croissance du gain avec la fréquence. Cependant, la condition $|Ka| \ll 1$, dans laquelle k est la constante de propagation et a l'épaisseur du canal, devient de plus en plus difficile à satisfaire et conduit à des dopages de plus en plus grands donc incompatibles avec une bonne mobilité différentielle.

A ces limitations, il faut ajouter celles, présentes dans l'effet Gunn, liées au temps de relaxation de l'énergie et au temps de diffusion intervalle, qui se manifestent d'une part par un temps de réponse fini à un signal haute fréquence, d'autre part par une zone morte devant la cathode. Il faut noter toutefois que la zone morte dans une diode Gunn constitue une limite au fonctionnement en haute fréquence dans la mesure où il s'agit d'une diode à temps de transit dont la longueur diminue quand la fréquence augmente. Dans l'amplificateur décrit ici, la longueur est indépendante du temps de transit et peut toujours être choisie grande par rapport à celle de la zone morte. De ce point de vue, le transistor selon l'invention atteint donc des performances supérieures à celles qui sont atteintes par effet Gunn.

Les figures 4 à 13 représentent les différentes étapes de réalisation de la structure de grille en méandres. Cependant, ces figures ne reprennent que la partie centrale de la grille, c'est-à-dire celle qui est réalisée sur le plateau supérieur du méso, sans tenir compte des parties de métallisation qui sont réalisées sur les flancs du méso et sur la surface supérieure du substrat dénudé. Néanmoins la réalisation d'une grille selon l'invention et de ces résistances entre barreaux est bien évidente puisque les opérations de masquage déterminent aussi bien ce qui est réalisé sur la partie supérieure du méso que sur ce qui est réalisé sur ses flancs.

La réalisation d'un transistor selon l'invention commence par des opérations classiques et bien connues qu'il n'est pas nécessaire de détailler : épitaxie d'une couche non dopée 2 sur un substrat, épitaxie d'une couche dopée 3 qui est la couche active et d'une couche 4 dopée n^+ qui ne subsistera que sous les contacts ohmiques source et drain ; délimitation des zones actives par formation du méso 13 et réalisation des contacts ohmiques de source et drain par dépôt métallique d'or-germanium-nickel par évaporation sous vide ou pulvérisation cathodique.

La réalisation de la grille selon l'invention commence par l'élimination de la couche 4 dopée n^+ autre part que sous les contacts ohmiques puis par la réalisation des lignes d'interconnexion 14 de la figure 3 et de la sous-couche d'accrochage de la grille. La figure 4 montre que sur la couche 3 du méso sont déposées une première couche de résine 15 de 5000 Å d'épaisseur environ, une couche de silice 16 d'épaisseur inférieure ou égale à 1000 Å et une seconde couche de résine 17 d'épaisseur 5000 Å.

En figure 5, la couche de résine supérieure 17 est masquée pour dissoudre la trace 18 correspondant aux méandres des barreaux de grille 9 et aux résistances 10. La résine 17 attaquée laisse apparaître la couche de silice 16 qui, en figure 6, est gravée par gravure ionique réactive avec CHF₃ comme réactif. La couche de silice 16 étant percée la première couche de résine 15 est à son tour attaquée par gravure ionique réactive avec de l'oxygène : la figure 7 montre que la tranchée 18 atteint à ce moment la couche 3 de matériau semiconducteur.

Une tranchée 18 ayant été obtenue, qui a la forme exacte du méandre de la grille, la couche de résine superficielle 17 est supprimée par gravure plasma ou gravure ionique réactive avec de l'oxygène, puis une métallisation d'accrochage 19 est pulvérisée par évaporation sous vide. Cette pellicule 19, que montre la figure 8, comporte 200 Å de titane, puis 500 Å de platine puis 300 Å d'or. Cette couche d'accrochage étant définie, la couche de silice 16 est supprimée par voie chimique avec de l'acide fluorhydrique : c'est ce que représente la figure 9, la première couche de résine 15 qui demeure correspond à l'épaisseur que l'on veut obtenir pour les barreaux de grille 9. Ceux-ci sont obtenus par croissance électrolytique, en figure 10, la croissance électrolytique ayant pour électrodes les interconnexions 14 qui ont été représentées en figure 3. Lorsque les barreaux de grille ont atteint par exemple 5000 Å d'épaisseur, une couche de silice ou d'isolant 11, tel que nitrure de silicium ou polyimide, 11 est déposée par dessus les barreaux de grille : c'est ce que représente la figure 11. Puis une pellicule d'or 12 est déposée par évaporation ou pulvérisation, par dessus la couche d'isolant 11 de façon à former une capacité dont l'autre armature est le méandre de grille : en figure 12, cette métallisation d'or a une épaisseur égale ou

supérieure à 1 micron.

La figure 13 représente la structure obtenue en figure 12 mais selon un angle orthogonal à l'angle de coupe de la figure 12 ; ceci permet de montrer la formation du méso dans la couche 3 et le dépôt de la métallisation d'accrochage 19 sur les flancs du méso et sur le substrat 1 : les résistances 10 sont donc constituées par la partie de la métallisation d'accrochage 19 qui repose sur la face supérieure du substrat isolant.

Pour obtenir un réseau de résistance 10 extérieur au méso et qui n'a pas été enrichi lors de l'enrichissement électrolytique des barreaux de grille 9, la couche de silice 16 et la couche résine 15 situées hors du méso ont été préservées au cours des opérations précédentes. Il faut donc maintenant les éliminer par masquage et gravure, et éliminer également les interconnexions provisoires 14.

Enfin éventuellement, il peut être nécessaire de dissoudre les couches de résine 15 subsistant entre les barreaux de grille 9, mais si cette résine est bien choisie, elle peut demeurer en place sans perturber le fonctionnement du transistor.

REVENDECATIONS

1/ Dispositif amplificateur à effet de champ, fonctionnant dans les hyperfréquences, par transfert d'électrons, comportant, supportées par un substrat semi-isolant (1), au moins une couche active (3) dans laquelle est formé un méso (13) qui porte sur sa face supérieure les métallisations des électrodes d'accès, source (5) et drain (6), et de l'électrode de commande dite grille, à contact Schottky, ce dispositif amplificateur étant caractérisé en ce que la grille est une grille longue ($\geq 10\mu$) à structure composite, constituée par un réseau de barreaux de grilles élémentaires (9), réunis entre eux par des résistances (10), montées en série et alternativement avec les barreaux de grille (9), les potentiels de polarisation des barreaux de grille (9) croissant régulièrement depuis une extrémité du réseau, mise à la masse, vers l'autre extrémité du réseau, polarisée par une tension de grille (V_G), dans le sens allant de la source (5) vers le drain (6).

2/ Dispositif amplificateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une couche d'un matériau isolant (11), déposée sur le réseau de barreaux de grille (9), et une couche métallique (12), déposée sur la couche isolante (11), ladite métallisation (12), mise à la masse, formant avec les métallisations des barreaux de grille (9) et la couche isolante (11) une pluralité de capacités, de valeur élevée, qui forment elles-mêmes avec les résistances (10) un réseau RC qui échelonne les tensions de grille et découple la composante continue à la masse.

3/ Dispositif amplificateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que, les barreaux de grille (9) étant formés par des métallisations épaisses ($\geq 5000 \text{ \AA}$) d'or sur la face supérieure du méso de la couche active (3), les résistances (10) sont formées par la même couche mince (200 \AA Ti, 500 \AA Pt, 300 \AA Au) que celle qui forme le contact Schottky de la grille, et sont supportées par le substrat semi-isolant (1), à l'extérieur du méso (13).

4/ Dispositif amplificateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour une même longueur, le gradient du potentiel d'échelonnement de grille étant égal au gradient du potentiel dans le canal (8), les caractéristiques statiques du canal (8) sont invariantes et son épaisseur est constante sur toute la longueur du canal.

5/ Dispositif amplificateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les tensions de polarisation de drain-source (V_{DS}) et de grille-source (V_{GS}) étant telles que le champ électrique dans le canal (8) est supérieur au champ critique (E_c), la mobilité différentielle ($\Delta V / \Delta E$) dans le canal est négative.

6/ Dispositif amplificateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le courant de grille est longitudinal, parallèle au plan du substrat (1) et dirigé de la source (5) vers le drain (6).

7/ Dispositif amplificateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le gain augmente avec la fréquence, à condition que $|ka| \ll 1$, k étant la constante de propagation et a l'épaisseur de la couche active (3).

8/ Dispositif amplificateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la couche active (3) est en matériaux binaires, ternaires ou quaternaires de la famille III-V, notamment GaAs, InP et GaInAs, faiblement dopée (10^{16} cm^{-3}) de type n.

9/ Dispositif amplificateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la couche active (3) est constituée par une hétérojonction entre matériaux binaires et ternaires de la famille III-V, notamment GaAs et $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, de type n.

FIG.1 1/2

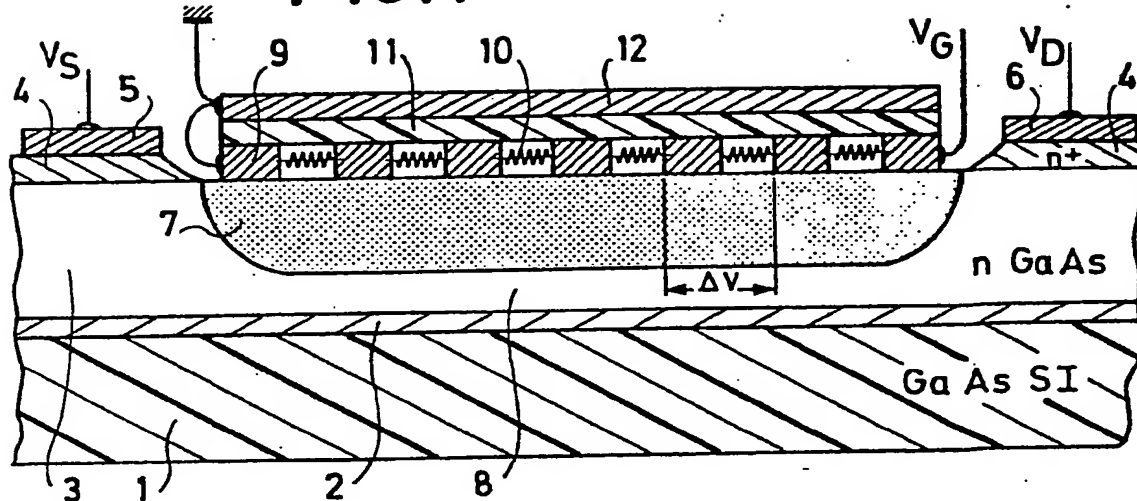


FIG.2

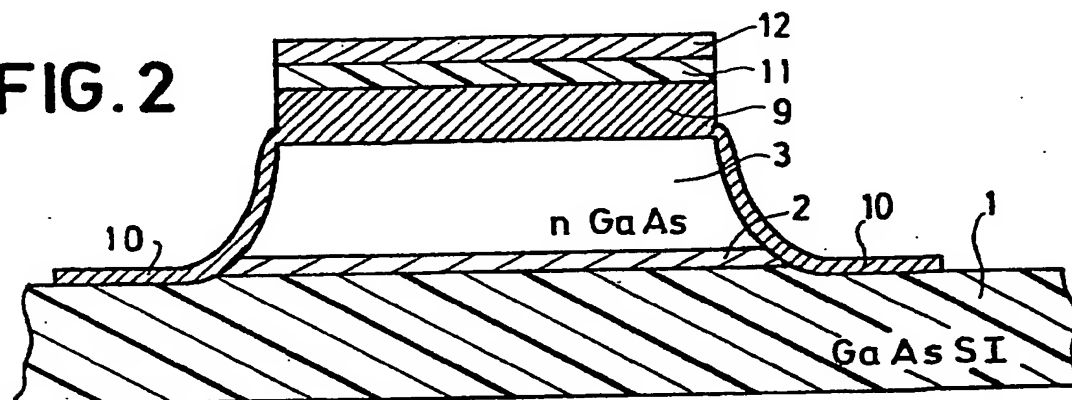
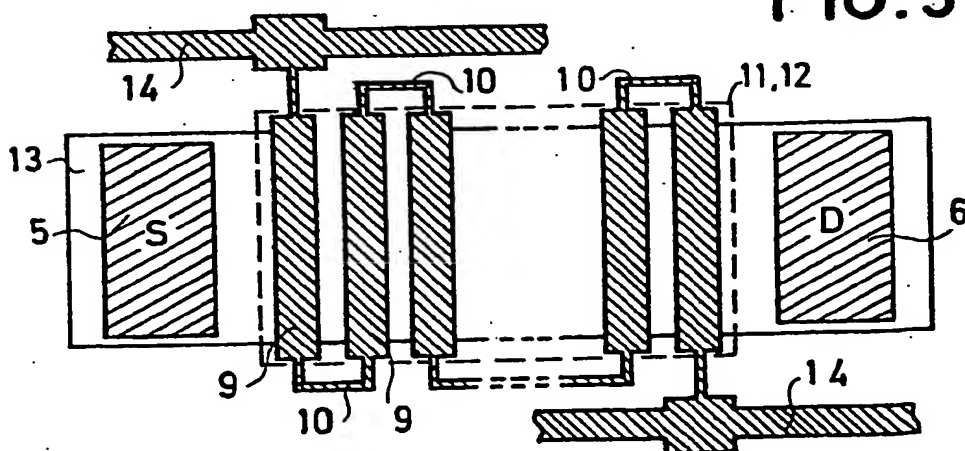


FIG.3



2/2

FIG. 4

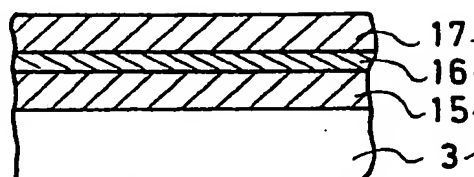


FIG. 5

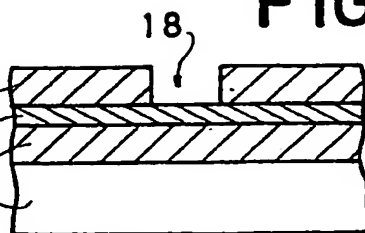


FIG. 6

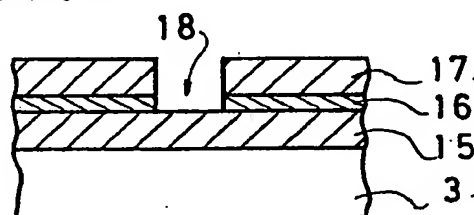


FIG. 7

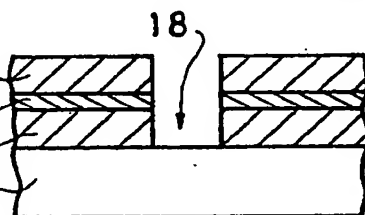


FIG. 8

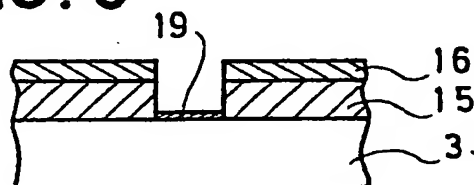


FIG. 9

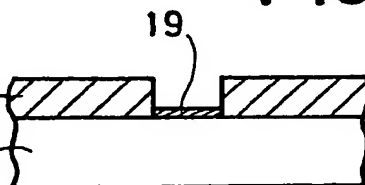


FIG. 10

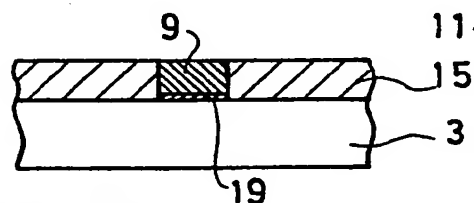


FIG. 11

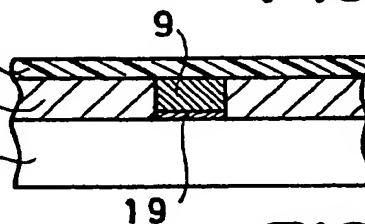


FIG. 12

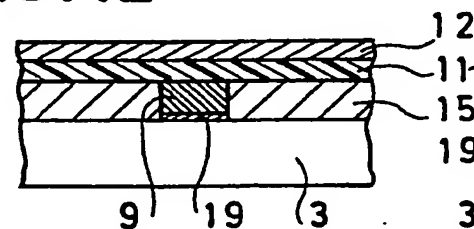


FIG. 13

